

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matic VOLAVŠEK

IZDELAVA IN TESTIRANJE DESKE ROLKE

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

CONSTRUCTION AND TESTING OF SKATEBOARD

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov - 1. stopnja na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Delo je bilo opravljeno na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo, kjer so bile opravljene laboratorijske meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa doc. dr. Sergeja Medveda.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Matic Volavšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 685.362
KG	deska rolke/testiranje/akacija/jesen
AV	VOLAVŠEK, Matic
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/MEDVED Sergej (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	IZDELAVA IN TESTIRANJE DESKE ROLKE
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	VII, 38 str., 12 pregl., 19 sl., 9 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Testirali smo deske rolke iz različnih vrst lesa in z ojačitvami ter jih primerjali z referenčno desko rolke. Za izdelavo deske rolke je bilo treba predhodno izdelati kalup, v katerem smo lepili deske iz furnirja. Obliko kalupa smo povzeli po naši referenčni deski rolke. Nato smo izdelali 2 deski rolke iz akacije, 2 iz akacije in dodano ojačitveno plastjo karbonskih vlaken in 3 deske rolke iz jesena. Vsem deskam rolke in 1 primerjalni komercialni deski rolke smo z upogibnim tri-točkovnim testom izmerili modul elastičnosti in upogibno trdnost. Pri modulu elastičnosti smo ugotovili, da so deske rolke, izdelane iz akacije, prenesle večje obremenitve kot naša primerjalna deska rolke. Deski rolke, ki sta bili ojačeni s karbonskimi vlakni, pa sta prenesli največje obremenitve med našimi preizkušanci. Ugotovili smo tudi, da jesen ni primerna lesna vrsta za desko rolke, saj ima zelo nizek modul elastičnosti. Pri upogibni trdnosti so bile ugotovitve podobne kot pri modulu elastičnosti. Največjo upogibno trdnost sta imeli deski iz akacije z ojačitvijo iz karbonskih vlaken, nato deski iz akacije ter originalna deska rolke. Pri deskah rolke iz jesena smo dobili zelo nizke upogibne trdnosti, kar zopet potrjuje, da jesen ni primeren za izdelavo deske rolke.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1

DC UDC 685.362

CX skateboard/testing/acacia/ash

AU VOLAVŠEK, Matic

AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/MEDVED Sergej (reviewer)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2015

TY CONSTRUCTION AND TESTING OF SKATEBOARDS

DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)

NO VII. 38 p., 12 tab., 19 fig., 9 ref.

LA sl

AL sl/en

AB We tested skateboards made out of different types of wood, and compared them with a reference skateboard. To construct a skateboard, we first had to make a mould, in which the veneer would be compressed. The shape of the mould was taken from our reference skateboard. Then we made 2 skateboards from acacia wood, 2 from acacia wood with an added carbon-fibre-reinforced layer, and 3 skateboards from ash wood. We measured the elasticity and bending strength of all the skateboards and of one reference commercial skateboard with a three-point bending test. Concerning the modulus of elasticity, we established that the skateboards made from acacia wood could withstand greater forces than our reference skateboard, and the 2 skateboards reinforced with carbon fibres withstood the most force among all of the tested items. We also found that ash wood was not an appropriate wood type for skateboards because it had a very low modulus of elasticity. The results for the bending strength were similar to those for the modulus of elasticity. The skateboards made from acacia wood with carbon fibre reinforcement showed the biggest bending strength, while the second best results came from the acacia wood skateboards, followed by the original skateboard. The skateboards made from ash wood showed very low bending strength values, which again confirmed that this type of wood was not appropriate for making skateboards.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE:.....	IV
KAZALO PREGLEDNIC:.....	VI
KAZALO SLIK:.....	VII
1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA.....	1
1.1 POSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI	1
1.3 HIPOTEZE.....	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 ZGODOVINA	2
2.2 DESKA ROLKE	4
3 MATERIALI IN METODE	8
3.1 IZBIRA LESNE VRSTE	8
3.1.1 Opis lesne vrste kanadski javor (<i>Acer sacharum</i>)	8
3.1.2 Opis lesne vrste akacija (<i>Robinia pseudoaccacia</i>).....	9
3.1.3 Opis lesne vrste jesen (<i>Fraxinus excelsior</i>).....	11
3.2 IZBIRA OJAČITVENE PLASTI.....	12
3.2.1 Izbira epoksidne smole za laminacijo.....	12
3.2.2 Tehnične specifikacije ARALDIT LY 3297/ARADURA 3299.....	13
3.3 IZBIRA LEPILA.....	14
3.3.1 Tehnične specifikacije lepila PURBOND HB 440	14
3.4 IZDELAVA KALUPA	15
3.5 IZDELAVA DESKE ROLKE	18
3.5.1 Sestava deske rolke ORIGINAL.....	19
3.5.2 Sestava deske rolke AKACIJA 1 in AKACIJA 2.....	19
3.5.3 Sestava deske rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4.....	20
3.5.4 Sestava deske rolke JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3.....	20
3.6 TESTIRANJE DESKE ROLKE	21
3.7 PRIPRAVE NA UPOGIBNI TEST	22
3.7.1 Določanje modula elastičnosti.....	23
3.7.2 Določanje upogibne trdnosti	23
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	24
4.1 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST DESK.....	24

4.2	KALKULACIJA MATERIALA ZA IZDELAVO DESKE ROLKE	30
4.2.1	Cene materialov	30
4.2.2	Izračun cene materialov za sestavo AKACIJA 1 in AKACIJA 2.....	30
4.2.3	Izračun cene materialov za sestavo AKACIJA 3 in AKACIJA 4.....	30
4.2.4	Izračun cene materialov za sestavo JESEN 1,2,3	31
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	32
5.1	RAZPRAVA	32
5.2	SKLEPI	36
6	POVZETEK.....	37
7	VIRI.....	39

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti steklenih vlaken, ogljika in kevlarja	12
Preglednica 2: Tehnični podatki ARALDTI LY 3297	13
Preglednica 3: Tehnični podatki ARADUR 3299	13
Preglednica 4: Tehnični podatki PURBOND HB 440	15
Preglednica 5: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke ORIGINAL	24
Preglednica 6: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 1.....	25
Preglednica 7: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 2.....	25
Preglednica 8: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 3.....	26
Preglednica 9: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 4.....	27
Preglednica 10: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 1	27
Preglednica 11: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 2	28
Preglednica 12: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 3	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz razvoja rolk	3
Slika 2: Prikaz tehnologije push construction za desko rolke	4
Slika 3: Prikaz patentirane tehnologije P2 za desko rolke proizvajalca Flip.....	5
Slika 4: Prikaz ojačitev za posamezne modele deske rolke proizvajalca Almost	6
Slika 5: Prikaz obarvanih plasti furnirja v deski rolke	7
Slika 6: Priprava referenčne deske za izdelavo kalupa.....	16
Slika 7: Premazno sredstvo RENGEL SW 404.....	16
Slika 8: Pritrjevanje centrirnih zatičev	17
Slika 9: Kalup za izdelavo deske rolke.....	17
Slika 10: Prikaz sestave deske rolke ORIGINAL	19
Slika 11: Prikaz sestave deske rolke AKACIJA 1 in AKACIJA 2	19
Slika 12: Prikaz sestave deske rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4	20
Slika 13: Prikaz sestave deske rolke JESEN 1, JESEN 2 in JESEN	20
Slika 14: Način obremenitve deske rolke s testirnim strojem ZWICK Z100.....	21
Slika 15: Upogibni test deske rolke ORIGINAL	22
Slika 16: Modul elastičnosti deske rolke glede na sestavo preizkušanca.....	32
Slika 17: Upogibna trdnost deske rolke glede na sestavo preizkušanca.....	33
Slika 18: Graf upogibne napetosti v odvisnosti od upogiba za posamezno desko rolke.....	34
Slika 19: Grafična primerjava sile loma med preizkušanci	35

1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA

1.1 POSTAVITEV PROBLEMA

Deske rolke (skejti) so večinoma izdelane iz furnirja kanadskega javorja (*Acer saccharum*). Furnir kanadskega javorja je pri nas precej drag in težko dostopen, zato nas je zanimalo ali je možno narediti desko rolke iz drugih cenejših in bolj dostopnih vrst lesa. Pri tem je pomembno, da ima deska rolke podobne karakteristike kot originalna (komercialna) deska izdelana iz kanadskega javorja.

Odločili smo se izdelati deske rolke iz furnirja jesena, akacije in akacije v kombinaciji s karbonskimi vlakni. Za primerjavo bomo uporabili eno komercialno desko izdelano iz kanadskega javorja.

Vsem deskam bomo izmerili modul elastičnosti in jih nato še preizkusili z upogibnim testom do samega loma. Vse pridobljene podatke bomo primerjali s podatki komercialne deske in tako ugotovili ali smo izdelali primerljivo desko rolke. Na koncu bomo še sešteli vse stroške izdelave in poiskali odgovor ali je naša deska rolke konkurenčna komercialni.

1.2 CILJI

Cilji diplomskega dela so:

- izdelati deske rolke iz furnirja akacije, jesena, ter akacije, ki bo ojačana s karbonskimi vlakni.
- preizkusiti narejene deske in eno komercialno desko z upogibnim testom, ter proučiti primerljivost trdnostnih lastnosti laboratorijskih desk s komercialno.

1.3 HIPOTEZE

Hipoteze tega diplomskega dela so, da bodo deske rolke iz furnirja akacije in jesena prenesle približno enako upogibno obremenitev, kot deska rolke iz kanadskega javorja. Predvidevamo tudi, da bo deska rolke ojačana s karbonskimi vlakni prenesla večje upogibne sile od deske iz kanadskega javorja.

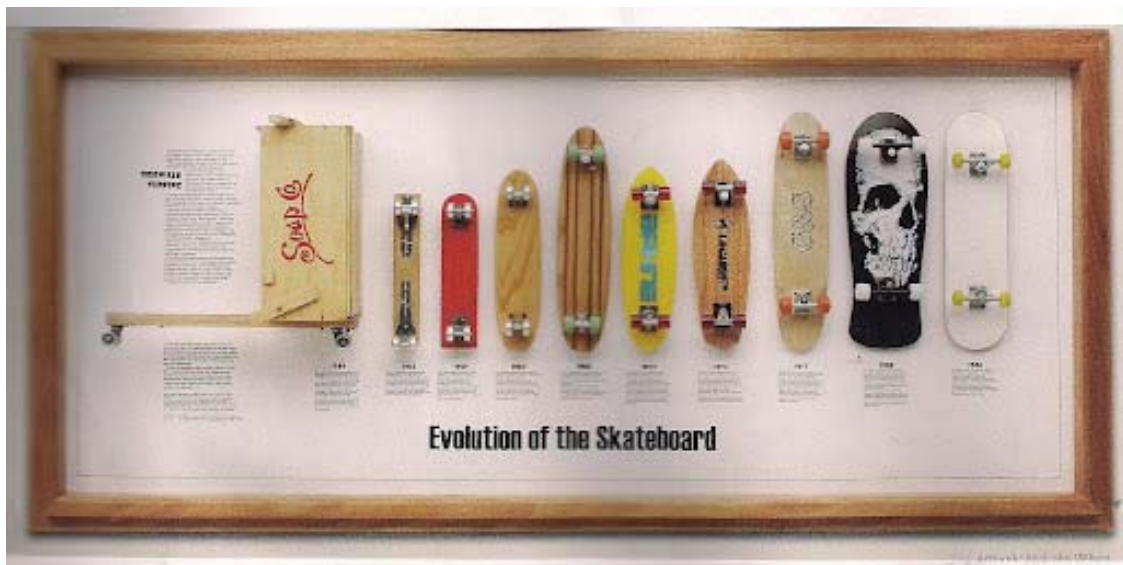
2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGODOVINA

Prve rolke so bile še najbolj podobne skirojem (Kompan in Volavšek, 2006). Te naprave, nekatere so se pojavile že okoli leta 1900, so bile le deske s pritrjenimi podvozji s kotalk. Mnogo teh naprav je imelo nameščeno paleta za mleko, ki so imela priročna držala. Skozi naslednjih pet desetletij so te palete odstranili, kolesa pa so dobila železne nadomestke (slika 1). V tem času so postale te naprave bolj popularne.

V petdesetih letih prejšnjega stoletja so rolkarji spremenili podvozja, kar je omogočalo lažje manevriranje na rolki. Leta 1959 se je v trgovinah pojavila prva Roller Derby rolka. Z njo so železna kolesa zamenjala glinena, hkrati pa se je začelo razvijati "surfanje po pločnikih". V sedemdesetih je bilo rolkanje še vedno šport izvajan na pločnikih, rolke pa so bile oblikovane za izgled, ne pa funkcionalnost. Zaradi ozkih podvozij (sleng: »akse«, »aksli«) so bila kolesa blizu skupaj, zaradi tega je bila rolka dokaj nestabilna. Razvoj rolkanja je vodil do širših rolk in podvozij, kar je omogočalo uporabo bolj zahtevnega terena. Med prve tipe takega terena spadajo suhi rečni jarki in prazni hišni bazeni (oboje so popularni še danes). Kmalu so začeli lastnosti tega terena posnemati in tako se je rodila rampa. Prve take rampe so bile oblike četrtnine kroga, po katerih so se rolkarji vozili do zgornjega roba. Velik napredek je pomenil izum half-pipe-a (slovensko pol-pipa), ki je sestavljen iz dveh četrtin kroga in nekaj ravne površine med njima. Half-pipe je še vedno nepogrešljiv del skoraj vsakega poligona za rolkanje, uporabljajo ga tudi pri deskanju na snegu, rolanju in BMX-u (Kompan in Volavšek, 2006).

Ker rolkanje izvira iz ZDA, tudi pripadniki rolkarske subkulture uporabljajo mnoge iz angleščine privzete besede. Tako je rolka »skejt«, rolkanje »skejtanje«, rolkar pa »skejter«. Prevzete besede prevladujejo tudi pri poimenovanju raznih tehnik, opreme in drugih sestavnih delov rolkanja (Kompan in Volavšek, 2006).



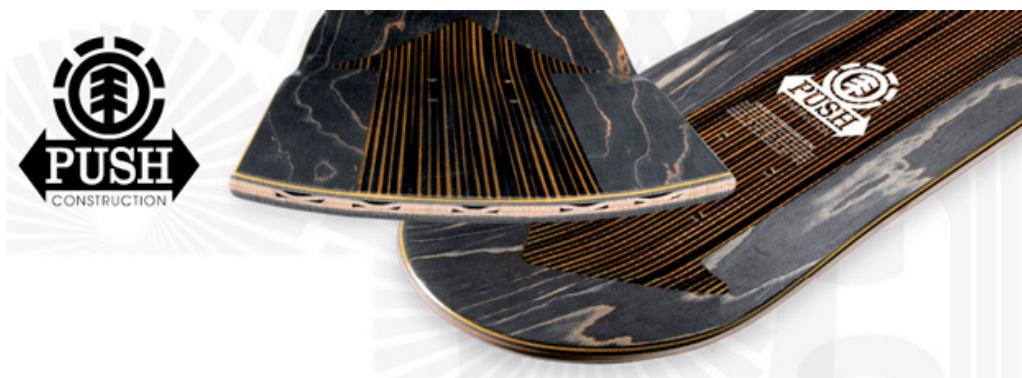
Slika 1: Prikaz razvoja rolk (Skateboarding history, 2009)

Rolkanje izvira iz surfanja, ker so surferji hoteli »surfati«, ko ni bilo valov. Tako so naredili prve rolke, ki so bile v osnovi podobne današnjim. Rolkanje so takrat imenovali »surfanje po pločnikih«, ker so rolkarji posnemali maneuvre surferjev. Dandanes pa je prišlo do obratne situacije: surferji prenašajo trike iz rolkanja na valove, rezultat pa je razvoj obeh »športov« (Kompan in Volavšek, 2006).

2.2 DESKA ROLKE

Deska rolke je običajno iz sedmih plasti 1,5 mm debelega furnirja, najpogosteje kanadskega javorja. V preteklosti so, da bi zmanjšali težo rolke, odstranili eno plast furnirja, ker pa je deska zaradi tega veliko izgubila na upogibni trdnosti, so to opustili. Danes se vse več proizvajalcev odloča izboljšati deske rolke z dodajanjem kompozitnih materialov, kot so steklena vlakna, aramidna vlakna ali ogljikova (karbonska) vlakna. Z dodajanjem kompozitnih materialov povečajo torzijsko, predvsem pa upogibno trdnost deske rolke. Karbonska in aramidna vlakna izboljšajo tudi samo utrujanje materiala, saj je deska rolke med uporabo konstantno obremenjena na upogib.

Tako je leta 2006 podjetje ELEMENT, ki je eden izmed vodilnih proizvajalcev desk rolk, razvil tehnologijo HELIUM BOARD CONSTRUCTION. Pri tej tehnologiji so klasično zasnovani sedem plastni deski rolke odvzeli eno plast furnirja in v notranjih plasteh ustvarili pet zračnih komor, ki potekajo vzdolž deske rolke. Tako je deska rolke postala veliko lažja od klasično zasnovane, prav tako pa so zračne komore odpravile tresljaje in povečale odskok »pop« deske rolke pri izvajanju trikov. Leta 2009 so HELIUM BOARD CONSTRUCTION tehnologiji dodali karbonska vlakna na zgornjo stran deske rolke. Pri tem so združili lahko desko rolke in mehanske lastnosti karbonskih vlaken, ter tako po njihovem mnenju dobili zelo vzdržljivo najbolj odzivno desko rolke na trgu. Skupek HELIUM BOARD CONSTRUCTION tehnologije in karbonskih vlaken so patentirali in poimenovali PUSH CONSTRUCTION (slika 2) (Element-skateboards, 2009).



Slika 2: Prikaz tehnologije PUSH Construction za desko rolke (Element-skateboards, 2009).

Pri drugem konkurenčnem podjetju FLIP gre razvoj desk rolk v enako smer kot pri podjetju ELEMENT. Podjetje FLIP je razvilo in patentiralo tehnologijo P2 (PRO 2). Pri tehnologiji P2 so klasično zasnovani sedem plastni deski rolke odvzeli eno plast furnirja. Da bi bila deska rolke še lažja, so za izdelavo uporabili zelo tanke furnirje kanadskega javorja, s tem pa so izboljšali prožnost deske rolke. Nato so na zgornjo stran deske rolke dodali dve različni vrsti materiala. Po obodu zgornje ploskve deske rolke so dodali kevlar, ki je obdan z tankim furnirjem kanadskega javorja, v sredino zgornje ploskve pa plast kevlarja. Proizvajalec se tako ponaša s tanjšo, bolj vzdržljivo in petnajstkrat močnejšo na prednjem (nose) in zadnjem (tail) delu kot klasična sedem plastna deska rolke. Največja izboljšava pa se je pokazala v sami prožnosti oz. fleksibilnosti materialov (slika 3). Deske rolke izdelane s P2 tehnologijo imajo zato med uporabo veliko večji povratek energije, saj se po razbremenitvi sile, ki deluje nanjo, hitreje in z večjo silo povrnejo v prvotno stanje. To v praksi pomeni manj vložene energije za skoke in rotacije deske rolke (P2 construction, 2014).



Slika 3: Prikaz patentirane tehnologije P2 za desko rolke proizvajalca FLIP (P2 construction, 2014)

Pri podjetju ALMOST Skateboards pa so kljub trendom o manjšem številu plasti v deski rolke, razvoj obrnili v nasprotno stran. Sedem plastni deski rolke so dodali eno plast furnirja in tako izdelali osem plastno desko rolke. Pri modelu IMPACT SUPPORT (slika 4) so na spodnji strani deske rolke, na področju kjer je pritrjeno podvozje in običajno pride do loma, dodali dva sloja karbonskih vlaken v obliki kroga. Model IMPACT PLUS so nadgradili tako, da so po sredini zgornje površine deske rolke dodali karbonska vlakna. Pri seriji IMPACT DOUBLE so zato, da bi zmanjšali težo, odvzeli eno plast furnirja in poleg okroglih karbonskih vstavkov na spodnji strani dodali karbonska vlakna še po celotni zgornji površini deske rolke. Tako so z dodajanjem kompozitnih materialov izboljšali lastnosti in trajnost deske rolke (Impact, 2013).



Slika 4: Prikaz ojačitev za posamezne modele deske rolke proizvajalca ALMOST (Impact, 2013)

Nekatera podjetja pa uporabljajo cenejše načine za izboljšavo karakteristik deske rolk, zato v sestavo dodajajo obarvane oz. impregnirane plasti furnirja, ki naj bi izboljšale upogibno trdnost in podaljšale življenjsko dobo deske rolke, vendar se je v praksi izkazalo, da je to le marketinška poteza proizvajalcev (slika 5). Kljub temu pa zaradi poslovnih skrivnosti od proizvajalcev nismo mogli pridobiti podatkov s čim obarvajo ali impregnirajo plasti.



Slika 5: Prikaz obarvanih plasti furnirja v deski rolke (skateboard armor ply)

Deske rolke so različnih velikosti, oblik in prožnosti. Moderne deske se razlikujejo po naklonu nosa in repa, dolžini in širini in po konkavnosti. Običajno je nos deske nekoliko daljši in širši, čeprav smo v dobi »switch« rolkanja in bi pričakovali, da sta enaka. Dolžine rolk segajo od zelo majhnih za otroke (izdelujejo jih posebna podjetja) do normalnih desk, ki se razlikujejo glede na teren rolkanja. Za tehnično (in bolj počasno) rolkanje se uporabljajo manjše in ožje deske, ker se lažje obvladujejo in hitreje rotirajo, za hitro vertikalno rolkanje pa se uporabljajo širše in daljše deske. Konkavnost deske je njena podolžna upognjenost in vpliva na to, kako hitro se rolka rotira. Ker konkavnost vpliva tudi na občutek na rolki, se za pravo odloča vsak rolkar sam, ne glede na teren, na katerem rolka (Kompan in Volavšek, 2006).

Pomemben del vsake deske je grafika na spodnji strani, čeprav nima uporabne funkcije. Povprečen rolkar z drsenjem po zidovih in ograjah grafiko odstrani v nekaj dneh, zato so med izkušenimi rolkarji popularne deske brez grafike, ker so občutno cenejše. Grafika omogoča, da deske prepoznamo po podjetjih in po njihovih poklicnih rolkarjih. Tematika grafik je uporniška, pogosto pa je njen namen šokirati. Veliko rolkarjev polepi spodnje dele svojih desk z nalepkami, kot je to značilno za poklicne rolkarje, ki tako promovirajo svoje sponzorje (Kompan in Volavšek, 2006).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBIRA LESNE VRSTE

Pred pričetkom praktičnega dela naloge je bilo potrebno izbrati primerne lesne vrste in debeline furnirjev za izdelavo deske rolke. Ker je rolka med samo uporabo (skoki čez ovire, drsenje po drogovihi...) zelo obremenjena, smo izbirali med lesovi, ki imajo višjo gostoto, žilavost in zadovoljivo prožnost. V ožji izbor smo uvrstili akacijo, brest, brezo, jesen in evropski javor. Pri izbiri smo upoštevali dostopnost in želene debeline furnirja (1 mm - 1,5 mm), ceno in tehnične specifikacije posamezne lesne vrste. Glede na zahteve smo izbrali furnir akacije in jesena.

3.1.1 Opis lesne vrste Kanadski javor (*Acer sacharum*)

S pomočjo spletne strani wood-database.com smo pridobili podatke o lesni vrsti Kanadskega javorja.

Botanično ime: *Acer saccharum Marsh.*

Botanična družina: Aceraceae

Tuja poimenovanja: Sugar maple, Hard maple (angl.), Erable a sucre (franc.), Zuckerahoren (nem.), Acero da zucchero (ital.)

Območje razprostranjenosti (areal): Sladkorni javor raste na severu Severne Amerike, predvsem na vzhodu Kanade in severozahodnih območjih ZDA.

Značilnosti dreves: Drevo doseže višino do 30 m in prsni premer do 1 m. Debla so pravilno oblikovana in razvejena, skorja je siva in vzdolžno razpokana. Listi so dlanasto deljeni v 5, redkeje v 3 krpe.

Zgradba lesa: Prirastni kolobarji so razločni in pravilni, vendar niso izraziti, pore so drobne, trakovi ozki. Vlakna so včasih zveržena, možne so tudi napake v barvi, ko se sredina debla temno obarva.

Lastnosti lesa: Javorjevina je raztreseno porozna, brez obarvane jedrovine. Je belo rumenkaste barve, na zraku porumeni. Tekstura je včasih nepravilna (valovita ali rebrasta, cvetlična, ptičja ...). Les je fin, ima svilnat lesk in se precej krči: radialno krčenje je 3-odstotno, tangencialno okoli 8-odstotno. Gostota pri 12- do 15-odstotni vlažnosti se giblje

od 550 do 750 kg/m³. Modul elastičnosti znaša 12620 N/mm², upogibna trdnost pa 109 N/mm². Les je trd, srednje trden in elastičen, težko cepljiv. Slabo je odporen proti napadom gliv in žuželk.

Sušenje: Les sušimo počasi pri nižjih temperaturah, sicer se deformira ali obarva.

Obdelava: Les se dobro obdeluje, še posebno lepo se struži. Obraba rezil je majhna, brušenje in lepljenje lesa ne povzročata posebnih težav. Učinki površinske obdelave parketa so, ne glede na vrsto premaza, zelo dobri. Zaradi rumenenja je priporočljivo uporabljati premaze z ustrezno UV-zaščito.

Uporaba: Zaradi izrazito svetle barve in odličnih mehanskih lastnosti javorjevino uporabljamo v proizvodnji furnirja, kakovostnega pohištva, za notranjo opremo in drugo. Les je idealen za izdelavo struženih in rezbarskih izdelkov, za glasbila in drugo. Parketi iz javorjevine so zelo dekorativni. V Kanadi in delih ZDA rastoča drevesa vrtačo in zbirajo sladek drevesni sok, ki vsebuje do 4 odstotke saharoze. Iz nje pridobivajo javorjev sladkor, ki se uporablja v gospodinjstvu in medicini (Hard maple, 2013).

3.1.2 Opis lesne vrste Akacija (*Robinia pseudoaccacia*)

Botanično ime: *Robinia pseudoaccacia*.

Botanična družina: Mimosoideae

Tuja poimenovanja: Black locust, locust, false acacia in robini.

Območje razprostranjenosti (areal): Prvotna domovina je Severna Amerika, zaradi dobre prilagodljivosti pa uspeva praktično povsod. Nasadi na Madžarskem obsegajo 275.000 ha, v Romuniji 191.000 ha, v nekdanji Sovjetski zvezi 144.000 ha, v Franciji 100.000 ha, v Bolgariji 73.000 ha in v nekdanji Jugoslaviji 50.000 ha.

Značilnosti dreves: Drevo doseže višino do 30 m in prsni premer do 1 m. Debla so pravilno oblikovana in razvejena, skorja je siva in vzdolžno razpokana. Listi so dlanasto deljeni v 5, redkeje v 3 krpe.

Zgradba lesa: Les je venčastoporozen. Osnovno vlakneno tkivo je iz libriformskih vlaken. Vlaknastih traheid ni. Rani les vsebuje 1-3 kolobarje širokih por. Prehod v kasni les je pogosto postopen. Trakovi so 1 do 7- redni, pretežno 3 do 5- redni. Trakovno tkivo je homogeno, redkeje nekoliko heterocelularno s kvadratastimi robnimi celicami. Piknje med trakovnimi celicami in trahejami so enostavne do obokane.

Lastnosti lesa: Robinijevina je tipično venčasto-porozna. Gostota je zato bistveno odvisna od širine branike oziroma radialnega prirastka. Gostota pri 12- do 15-odstotni vlažnosti se giblje od 690 do 760 kg/m³. Modul elastičnosti znaša 13600 N/mm², upogibna trdnost pa 140 N/mm². S širino branike se povečuje delež zelo gostega kasnega lesa iz libriformskih vlaken in z njim gostota. Z gostoto se povečujeta trdnost in trdota. Zlasti izstopata dinamična trdnost (upogibna nihajna trdnost in udarna žilavost). Les je zelo trajen, tudi v vodi, in izjemno odporen proti glivam in insektom. Črnjavski izvleček deluje kot zaščitno sredstvo proti glivam, ki povzročajo belo in rjavo trohnobo. Les je biološko aktiven in lahko povzroči vnetje sluznice in dermatitis.

Sušenje: Robinijevina se suši počasi in je nagnjena k veženju in pokanju.

Obdelava: Robinijevina se odlično krivi in je v tem pogledu primerljiva z bukovino in jesenovino. Zaradi močne otiljenosti lepljenje ni najboljše. Mehanska obdelava je dobra. Odlično se struži in rezlja. Žebljanje in vijačenje zahteva predvrtanje. Površinsko se dobro obdeluje.

Uporaba: Kljub izstopajočim lastnostim, je zaradi slabe oblikovanosti debel, raba robinijevine omejena. Zaradi dimenzijske stabilnosti, trdote in obarvanosti se uporablja za parket, ob dobri oblikovanosti pa tudi za dekorativen rezan furnir. Odlična je za vodne gradnje, kot rudniški les, ki s pokanjem opozarja na zrušitev, vrtno pohištvo, železniške pragove, pilote, kole za ograje, sode, ročaje za orodje, v kolarstvu za napere, pesta in platišča (Torreli, 2002).

3.1.3 Opis lesne vrste Jesen (*Fraxinus excelsior*)

Botanično ime: *Fraxinus excelsior*

Botanična družina: Oleaceae

Tuja poimenovanja: Common ash (angl.), Esche, gemeine Esche (nem.)

Območje razprostranjenosti (areal): Beli jesen raste v hladnih predelih Evrope na globoki zemlji, podnebje pa ne sme biti pretoplo in presuho. Samoraslo uspeva povsod v Evropi do nadmorske višine 1500 metrov, čisti jesenovi gozdovi pa so redki.

Značilnosti dreves: Veliki jesen lahko zraste preko 40 metrov v višino, deblo pa ima lahko premer preko 3 metre. Skorja drevesa je rjavo rdečkasta, pri mladih drevesih gladka, pri starejših pa podolžno globoko in prečno plitvo brazdasta. Redka krošnja je nepravilne oblike, veje pa so usmerjene navzgor. Listi so dolgi od 20 do 35 cm in so sestavljeni iz 9-15 ovalnih, suličastih lističev z rahlo nazobčanim listnim robom. Lističi so dolgi od 3–12 cm in široki od 0,8–3 cm.

Zgradba lesa: Les je rumenkasto bele barve. Pogosto se pojavi diskoloriran les rjavo srce. Jesenovina je venčasto porozna z izrazitimi branikami. Pore so v ranem lesu velike in na vzdolžnem prerezu vidne kot grobi, v kasnem lesu pa kot fini žlebiči. Trakovi so komaj vidni.

Lastnosti lesa: Les ima srednjo do visoko gostoto in je trd. Gostota zračno suhega lesa je $650\text{--}690\text{ kg/m}^3$. Modul elastičnosti znaša 12310 N/mm^2 , upogibna trdnost pa 103 N/mm^2 . Tlačna in upogibna trdnost sta srednje veliki do visoki. Les s širokimi branikami je zelo trden in med našimi lesnimi vrstami najboljši za dinamične obremenitve. Slabo je odporen proti vremenskim vplivom, ni odporen proti glivam in insektom. Zmerno se krči.

Sušenje: Jesenovina se suši zmerno dobro in je po končanem sušenju dimenzijsko stabilna.

Obdelava: Jesenovina se dobro mehansko obdeluje, kakor tudi struži in rezbari. Parjen les se lahko krivi. Jesenovina se dobro lepi in površinsko obdeluje.

Uporaba: Zaradi izjemne žilavosti se uporablja za športno orodje (smuči, telovadno orodje) in orodne ročaje. Tudi krivi se dobro. Zaradi svojih estetskih lastnosti, trdnosti in trdote pa je jesenovina uporabna tudi za parket in pohištvo. Mnogokrat pa jesenovina izkazuje zanimive redke teksture, npr. rebrasto teksturo v tangencialnem prerezu (Torreli, 1998).

3.2 IZBIRA OJAČITVENE PLASTI

V novodobnem rolanju se vse več pojavljajo deske z ojačitvenimi plastmi iz kompozitnih materialov. Proizvajalci dodajo v rolke ojačitvene plasti iz ogljikovih ali steklenih vlaken. Mi smo se odločili za ojačitev iz ogljikovih vlaken (karbon), saj imajo le ta večjo natezno trdnost in modul elastičnosti kot steklena vlakna.

Na trgu se pojavlja veliko različnih vrst pletenj in po gostoti razvrščenih vlaken (preglednica 1). Izbrali smo ogljikova vlakna s tkanjem BIAxIAL in gostoto 482 g/m². Takšna vlakna so precej goste tkana in se uporabljajo predvsem za ojačitvene plasti v izdelkih, ki so obremenjeni na upogib (rolke, smuči...).

Preglednica 1: Lastnosti steklenih vlaken, ogljika in kevlarja

Vrsta vlakna	Specifična teža	Natezna trdnost	Spec. natezna trdnost	Modul elastičnosti	Spec. modul elastičnosti
	g/cm ³	MPa	MPa/g/cm ³	GPa	GPa/g/cm ³
E-steklo	2,55	2000-3500	784 -1372	70	27
Ogljik	1,90	3445	1813	441	232
Kevlar	1,45	3600	2482	131	90

3.2.1 Izbira epoksidne smole za laminacijo

Karbonska vlakna je potrebno prepojit (laminirati) z epoksi smolo, saj le tako dobijo ustrezno trdnost. Ker obstaja veliko različnih smol po karakteristikah (elastične, srednje elastične in neelastične) in po načinu nanosa (brizganje, nanos s čopičem, RTM nanos...) ter utrjevanja (hladno, toplo ali vroče), smo se za nasvet obrnili na podjetje Mirnik TG d.o.o.

Naše zahteve so bile:

- Hladno utrjevanje
- Ročni nanos s čopičem oz. valjčkom
- Elastičnost
- Cena

Glede na naše zahteve so nam svetovali uporabo hladno strjevalnega epoksi sistema na osnovi ARALDITA LY 3297/ARADURA 3299 v mešalnem razmerju 1:1.

3.2.2 Tehnične specifikacije ARALDIT LY 3297/ARADURA 3299

Uporaba: Industrijski kompoziti

Značilnosti: Sistem laminacije z nizko viskoznostjo in visoko fleksibilnostjo.

Preglednica 2: Tehnični podatki ARALDIT LY 3297

ARALDIT LY 3297		
Videz (vizualni izgled)	Bistra tekočina	
Viskoznost pri 25 °C (ISO 12058-1B)	4000-5000	[mPa s]
Gostota pri 25 °C (ISO 1675)	1,0-1,1	[g/cm ³]
Plamenišče (ISO 2719)	>100	[°C]
Temperatura skladiščenja	2-40	[°C]

Preglednica 3: Tehnični podatki ARADUR 3299

ARADUR 3299		
Videz (vizualni izgled)	Bistra tekočina	
Viskoznost pri 25 °C (ISO 12058-1B)	30-60	[mPa s]
Gostota pri 25 °C (ISO 1675)	0,90-1,00	[g/cm ³]
Plamenišče (ISO 2719)	>100	[°C]
Temperatura skladiščenja	2-40	[°C]

3.3 IZBIRA LEPILA

V lesni industriji uporabljamo veliko različnih vrst lepil, ki se razlikujejo po sestavi:

- Polivinilacetatno lepilo (PVA)
- Urea-formaldehidno lepilo (UF)
- Melamin-formaldehidno lepilo (MF)
- Poliuretansko lepilo (PUR)
- Resorcinol-formaldehidno lepilo (RF)
- Fenol-formaldehidno lepilo (FF)
- Epoksidno lepilo

Ker gre pri izdelavi deske rolke za konstrukcijsko lepljenje in za dinamično obremenjen izdelek, smo izbirali med lepili za konstrukcijsko lepljenje. Pomemben dejavnik je prav tako bil ta, da smo imeli hladno stiskanje in pa sam čas utrjevanja lepila, saj je zelo pomembno, da lahko izdelek hitro odstranimo iz kalupa. Zato smo se odločali med uporabo lepil na epoksidni osnovi (dvokomponentno lepilo) in eno-komponentnega poliuretanskega lepila. Zaradi lažje dostopnosti, cene in pa že preteklih izkušenj z lepili te vrste smo se odločili za poliuretansko lepilo PURBOND HB440.

3.3.1 Tehnične specifikacije lepila PURBOND HB 440

Značilnosti in uporaba: Eno-komponentno poliuretansko lepilo za visoko obremenilne lesene konstrukcije v skladu z nemškim standardom DIN 1052.

Tehnični podatki: Purbond HB 440 je raktivno, tekoče eno-komponentno poliuretnasko lepilo, ki za sušenje potrebuje vlago oz. vlažnost. Efekt rahlega penjenja med sušenjem je normalen pojav kemične reakcije (preglednica 4). Purbond HB je proizveden brez topil in formaldehidov. Nanos Purbond HB je testiran s strani FMFA, Stuttgart, Nemčije in primeren za vse lesene konstrukcije pri katerih se zahteva odobritev nemškega standarda DIN 1052.

Preglednica 4: Tehnični podatki za lepilo PURBOND HB 440

	PURBOND HB 440
Osnova	Poliuretan
Oznaka	Isocianat prepolimer
Komponentno	1 komponentno
Barva lepila	Belo-bež
Barva lepilnega spoja	Transparent
Odprti čas	30 min
Čas stiskanja	2 uri
Končna trdnost	12 ur
Suha snov	100 %
Gostota	1,1 g/ml
Količina nanosa	200
Vodoodpornost	Vodoodporen
Ekologija	Brez formaldehida, brez topil
Shranjevanje	3 mesece

3.4 IZDELAVA KALUPA

Za izdelavo deske rolke je bilo potrebno predhodno izdelati kalup. Ker se deske rolk stiska v stiskalnicah pod velikimi tlaki, je bilo potrebno izdelati kalup, ki bo dovolj kompakten, da bo zdržal velik tlak stiskanja in da bo po vsej površini enakomerno stisnil furnir. Da bi bile izdelane deske rolke identične komercialni, smo za kalup povzeli obliko komercialne deske rolke.

Najprej smo na komercialno desko rolke s poliestrskim kitom pritrdili konce vezane plošče, tako, da smo dobili desko pravokotne oblike, saj je za kvalitetno stiskanje potrebno izdelati širši kalup kot je sama deska. Vse spoje med desko rolke in vezano ploščo smo pokitali in obrusili, da smo dobili gladko površino (slika 6).



Slika 6: Priprava referenčne deske za izdelavo kalupa

Nato smo iz iverne plošče naredili škatlo (ogrodje) in v njo na sredino vstavili desko rolke. Vse robove med desko rolke in škatlo smo zapolnili s kitom, razen dveh lukenj na deski, ki sta namenjeni za pritrditev podvozja. V njiju smo vstavili kovinski palici, ki sta nam kasneje služili za natančno izvrtavanje lukenj. Tako smo si pripravili samo osnovo za izdelavo kalupa. Vse notranje dele ogrodja in rolko smo dobro premazali z ločilnim sredstvom, nato pa še z RENGEL SW 404 smolo (slika 7), ki naredi površino kalupa trdo in gladko. Na to sredstvo smo nanесли še črno plast posebnega sredstva za boljši sprijem polnila (kremenčevega peska pomešanega s smolo AH 110) in mase RENGEL SW 404.



Slika 7: Premazno sredstvo RENGEL SW 404

Nato smo začeli z nanosom polnila v zgornji del ogrodja. Plast za plastjo smo nanašali v ogrodje, dokler nismo napolnili zgornje polovice do vrha. Na koncu smo v kremenčev pesek vstavili še dva kosa bukovih letev, katere smo kasneje porezkali z nadmiznim

rezkarjem. Porezkane bukove letve v kalupu so nam služile za natančen in prilegajoč stik med stiskalnico in kalupom. Pri stiskanju je zelo pomembno, da je spodnja in zgornja stran kalupa vzporedna, saj bi v nasprotnem primeru prišlo med stiskanjem do poškodbe stiskalnice in kalupa. Ko smo končali z zgornjim delom kalupa, smo počakali, da se je polnilo strdilo. Nato smo postopek ponovili še za drugo polovico ogrodja. Nato smo leseno ogrodje okoli polnila odstranili in dobili kalup (slika 8).



Slika 8: Pritrjevanje centrinih zatičev

Preden smo kalup razprli in odstranili desko rolke po kateri smo povzeli obliko, je bilo potrebno ob straneh kalupa privijačiti centrinske zatiče, da sta kasneje oba dela kalupa (zgornji in spodnji) vedno natančno skupaj, saj lahko le tako zagotovimo konstantno kvaliteto stiskanja. Po namestitvi centrinih zatičev smo kalup razprli, odstranili desko in kalup še rahlo obrusili, da smo dobili gladke površine (slika 9).



Slika 9: Kalup za izdelavo deske rolke

3.5 IZDELAVA DESKE ROLKE

Za izdelavo ene deske rolke smo potrebovali 7 plasti furnirja, od tega 2 plasti s prečno smerjo rasti, glede na desko rolke. Zato smo furnir najprej narezali na dolžino za vzdolžne plasti in nato še krajše kose, ki smo jih spojili med seboj za prečne plasti. Pri krojenju furnirja smo dodali nadmero, saj se med zapiranjem stiskalnice in kalupa plasti lahko rahlo zamaknejo.

Pri razporeditvi plasti pred stiskanjem smo furnirje izbrali tako, da smo v sestavi kombinirali različne teksture furnirja (radialna tekstura, tangencialna tekstura), saj s tem v veliki meri izključimo možnost slabe kvalitete deske zaradi rasti in napak v lesu.

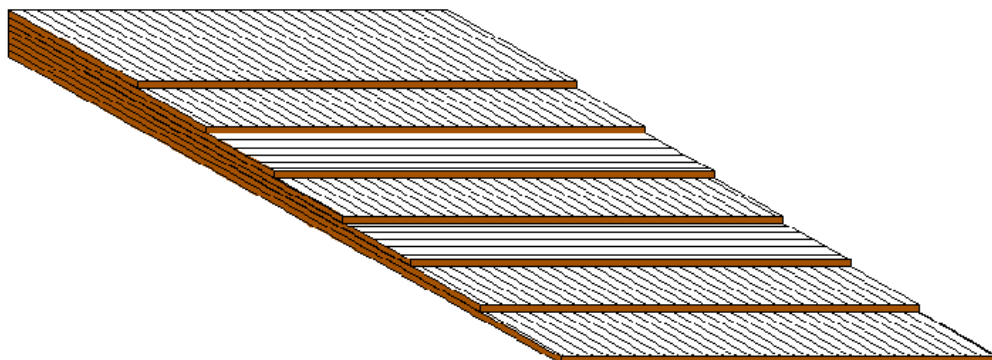
Pripravljen furnir smo pred nanašanjem lepila poškopili z vodo, saj s tem odpremo pore v lesu in tako omogočimo boljšo penetracijo lepila v les, prav tako pa lepilo na poliuretanski osnovi reagira z vlago v lesu in zraku zato so spoji bolj kvalitetni in lepilo hitreje utrdi. Lepilo smo nanašali z lopatico za nanos lepila pri tem pa smo upoštevali predpisani nanos, ki je bil 200g/m^2 in odprti čas lepila 30 min. Vse namazane plasti furnirja smo vstavili v kalup, ki smo ga prej namestili v stiskalnico, ter nato stisnili s stiskalnico na 150 bar. Upoštevali smo predpisani čas stiskanja 2 uri in specifični tlak stiskanja 9 bar. Po dveh urah stiskanja smo stiskalnico odprli, odstranili zlepljeno desko, ter ponovili zgornji postopek in tako zlepili naslednjo desko rolke. Vse zlepljene deske rolke smo pustili do naslednjega dne, da je lepilo dokončno utrdilo, saj je obdelava izdelkov priporočljiva šele po 24 urah.

Po 24 urah smo deske obžagali na tračni žagi in nato še porezkali na kopirnem rezkalnem stroju tako, da smo dobili popolnoma enako obliko kot jo je imela vzorčna deska. Na koncu pa smo še izvrtali luknje, ki služijo za pritrditev podvozja. Za vse narejene deske rolke smo zgoraj navedeni postopek izdelave ponovili, razen pri deskah rolke iz akacije, ki so bile ojačane s karbonskimi vlakni.

Pri deskah ojačanih s karbonskimi vlakni smo klasični sedem plastni sestavi kot tretjo plast od spodaj navzgor dodali plast karbonskih vlaken. Ker smo ojačitev dodali v spodnji del sestave, smo deski rolke izboljšali predvsem upogibno trdnost. Ker sama karbonska vlakna (kot tkanina) niso uporabna za ojačitev, smo jih impregnirali z epoksidno smolo, ki nam je služila za utrditev karbonskih vlaken in za samo vez med karbonom in furnirjem. Uporabili smo epoksidno smolo ARALDIT LY 3297 (sistem laminacije z nizko viskoznostjo in visoko fleksibilnostjo) z visoko reaktivnim aaminskim utrjevalcem ARADUR 3299, ki utrjuje cca. 7 ur pri hladnem stiskanju. Tako se nam je čas stiskanja iz 2 ur podaljšal na 7 ur. Parametri stiskanja so ostali enaki, prav tako kasnejša obdelava deske rolke.

3.5.1 Sestava deske rolke ORIGINAL

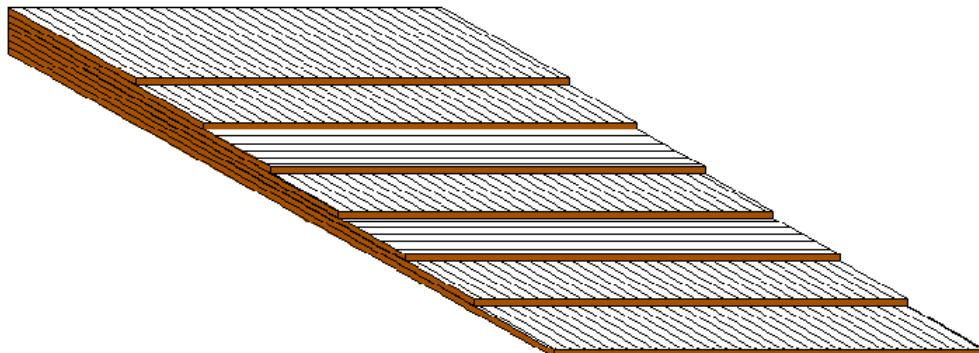
Komercialno desko rolke, ki nam je služila za primerjavo rezultatov, smo poimenovali ORIGINAL. Deska rolke je bila narejena iz sedmih plasti 1,5 mm debelega furnirja kanadskega javorja. Sestava plasti je poteka tako, da je bilo pet plasti furnirja orientiranih vzdolžno, druga in šesta plast pa sta bili usmerjeni prečno (slika 10). Podatki o lepilu nam zaradi poslovnih skrivnosti podjetij niso bili znani.



Slika 10: Prikaz sestave deske rolke ORIGINAL

3.5.2 Sestava deske rolke AKACIJA 1 in AKACIJA 2

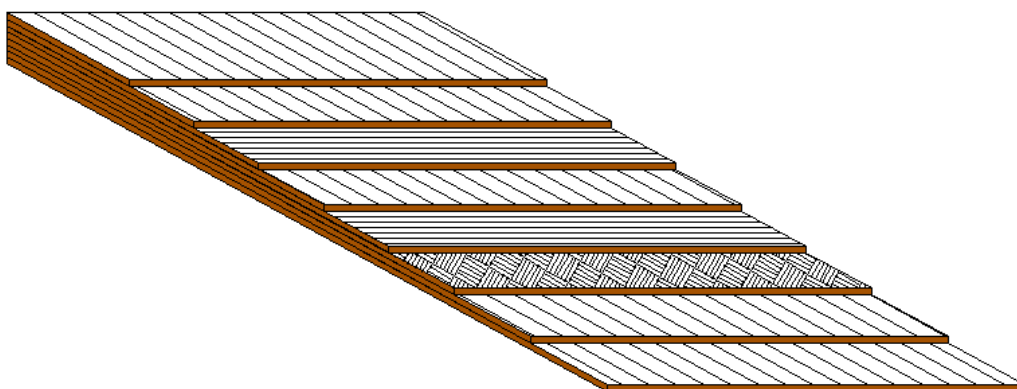
Deski rolke, ki smo ju laboratorijsko poimenovali AKACIJA 1 in AKACIJA 2, sta bili narejeni iz sedmih plasti 1,4 mm debelega furnirja akacije. Sestava plasti je potekala identično kot pri deski rolke ORIGINAL. Pet plasti furnirja usmerjenih vzdolžno, druga in šesta plast pa sta bili usmerjeni prečno (slika 11). Deska rolke je bila zlepljena z lepilom PURBOND HB 440. Tlak stiskanja je bil nastavljen na 150 bar, kar nanese cca. 9 bar specifičnega tlaka. Čas stiskanja je bil 2 uri.



Slika 11: Prikaz sestave deske rolke AKACIJA 1 in AKACIJA 2

3.5.3 Sestava deske rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4

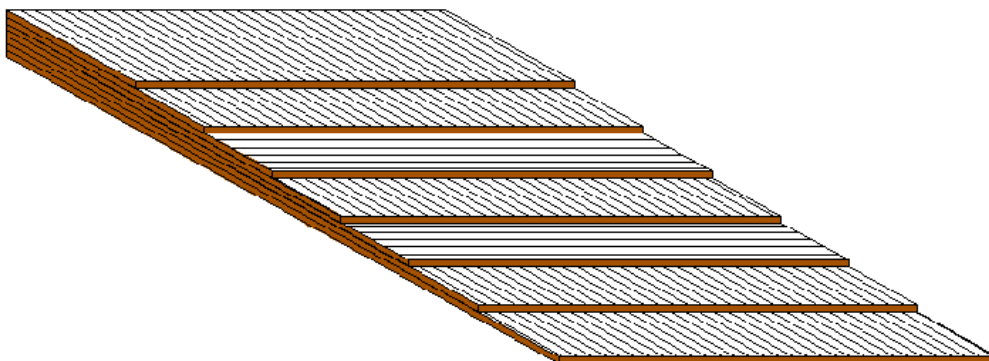
V deski rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4 smo vstavili ojačitveni plasti karbonskih vlaken. Osnovni sedem plasti sestavi smo kot tretjo plast od spodaj navzgor dodali plast karbonskih vlaken. Četrta in šesta plast sta bili usmerjeni prečno, preostalih pet plasti furnirja pa smo usmerili vzdolžno. Deska je bila zlepljena z lepilom PURBOND HB 440, na stiku karbonskih vlaken in furnirja pa smo uporabili epoksidno smolo. Tlak stiskanja je bil nastavljen na 150 bar, kar nanese cca. 9 bar specifičnega tlaka. Čas stiskanja je bil 2 uri.



Slika 12: Prikaz sestave deske rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4

3.5.4 Sestava deske rolke JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3

Deske rolke, ki smo jo laboratorijsko poimenovali JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3, so bile narejene iz sedmih plasti 1,6 mm debelega furnirja jesena. Sestava plasti je potekala identično kot pri deski rolke ORIGINAL. Pet plasti furnirja usmerjenih vzdolžno, druga in šesta plast pa sta bili usmerjeni prečno. Deska rolke je bila zlepljena z lepilom PURBOND HB 440. Tlak stiskanja je bil nastavljen na 150 bar, kar nanese cca. 9 bar specifičnega tlaka. Čas stiskanja je bil 2 uri.



Slika 13: Prikaz sestave deske rolke JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3

3.6 TESTIRANJE DESKE ROLKE

Vse narejene deske rolke in eno komercialno desko rolke (referenčno) smo testirali in zlomili na univerzalnem testirnem stroju ZWICK Z100 (slika 14). Izvajali smo tri-točkovni upogibni test, pri tem pa dobili podatke o modulu elastičnosti, maksimalni sili obremenitve in upogibni trdnosti. Čas do loma je zaradi specifične oblike in zgradbe desk rolk zelo nihal, vendar pa smo preizkušanje podaljšali, da je prišlo do popolnega loma in ne zgolj do maksimalne sile oz. sile loma.



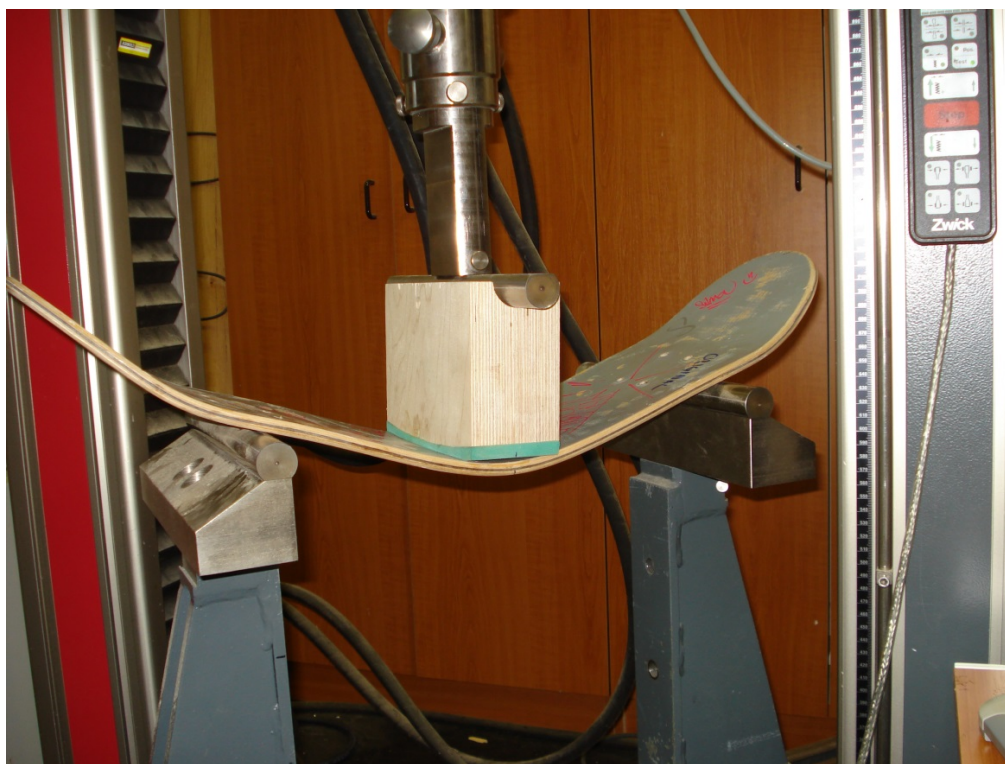
Slika 14: Način upogibne obremenitve deske rolke s testirnim strojem ZWICK Z100

3.7 PRIPRAVE NA UPOGIBNI TEST

Ker ima deska rolke specifično obliko (konkavnost) jo je zelo težko testirati na upogib po katerem izmed obstoječih standardov. Zato smo se odločili narediti primerjalni test med deskami rolk. Za referenčno vrednost smo testirali kupljeno komercialno desko rolke narejeno iz kanadskega javorja.

Pred pričetkom testa smo izdelali kladico dimenzij 200 mm x 80 mm x 140 mm in ji na spodnji strani naredili radij kot ga ima deska rolke v prečnem preseku, ter jo obložili s trdo kompaktno gumo za natančno prileganje deski rolke. Na zgornji strani smo naredili polkrožni utor za prileganje osi stroja za upogibni test.

Podpore stroja smo nastavili na dolžino 410 mm, kar ustreza razdalji med luknjami na deski rolke, ki služijo za pritrditev podvozja. Vsem deskam smo na sredini izmerili širino in debelino, ter podatke vnesli v program.



Slika 15: Upogibni test deske rolke ORIGINAL

3.7.1 Določanje modula elastičnosti

Preden smo deske rolke obremenili do sile loma, smo jim z upogibnim testom izmerili modul elastičnosti. Pod desko rolke smo nastavili tipalo, ki natančno meri upogib (poves) deske in vse to beleži v program, ki nam izračuna modul elastičnosti. Test modula elastičnosti smo vedno ročno ustavili, ko je prišlo do cca. 7 mm povesa deske rolke. Da smo dobili natančne in zanesljive podatke, smo opravili pet meritev modula elastičnosti za posamezno desko rolke.

Modul elastičnosti E_m (N/mm²) smo ugotovili po naslednji enačbi:

$$E_m = \frac{l_1^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times b \times t^3 \times (a_2 - a_1)}$$

- F_1 sila pri 10 % sile loma [N]
- F_2 sila pri 40 % sile loma [N]
- l_1 razdalja med podporama [mm]
- a_1 poves pri 10 % sile loma [mm]
- a_2 poves pri 40 % sile loma [mm]
- b širina preizkušanca [mm]
- t debelina preizkušanca [mm]

3.7.2 Določanje upogibne trdnosti

Po opravljenih meritvah modula elastičnosti smo lahko vse deske obremenili do loma. Razdalja med podporama je ostala enaka, le da smo odstranili merilec upogiba in smo namesto tega uporabili integriranega v testirnem stroju. Pomik smo nastavili na cca 4,5 mm/min. Vse deske rolke smo obremenili do loma. Po lomu smo s testiranjem nadaljevali in spremljali nadaljnjo obremenjevanje deske rolke. Tako smo deske rolke bolj deformirali in zaradi tega lažje preučili mesto loma.

Upogibno trdnost f_m (N/mm²) smo ugotovili po naslednji enačbi:

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times l_1}{2 \times b \times t^2}$$

- $F_{\max}$ sila loma [N]
- l_1 razdalja med podporama [mm]
- b širina preizkušanca [mm]
- t debelina preizkušanca [mm]

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST DESK

V preglednicah 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 in 12 so prikazane osnovne mere za posamezne deske rolke, sila loma, upogibna trdnost in maksimalni povos. Prikazan je tudi modul elastičnosti za vsako ponovitev meritve in povprečna vrednost modula elastičnosti.

Preglednica 5: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke ORIGINAL

Deska rolke ORIGINAL						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	10,55	197	4330	61,1	13900	121
2	10,55	197			14200	
3	10,55	197			14400	
4	10,55	197			14400	
5	10,55	197			14400	
Povprečje:			4330	61,1	14260	121

Pri deski rolke ORIGINAL smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 14260 N/mm². Naredili smo pet ponovitev meritev modula elastičnosti in pri tem izračunali povprečje. Pri vseh meritvah se je pojavilo odstopanje le pri prvi izmerjeni vrednosti. Dobili smo tudi večji modul elastičnosti kot ga literatura navaja v opisu lesne vrste (12620 N/mm²). Ta razlika v podatkih je predvsem v tem, da smo merili modul elastičnosti kompozitu in ne zgolj samemu lesu. Upoštevati moramo tudi elastičnost lepila in križno postavitve spojev. Razlika je lahko nastala tudi zaradi teksture ali napak v lesu.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 121 N/mm². Tudi ta izmerjena vrednost je večja od podane vrednosti v literaturi (109 N/mm²). Dejavniki odstopanja vrednosti so verjetno enaki kot pri merjenju modula elastičnosti.

Preglednica 6: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 1

Deska rolke AKACIJA 1						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	9,76	198	3800	38	16500	124
2	9,76	198			16700	
3	9,76	198			16700	
4	9,76	198			16600	
5	9,76	198			16600	
Povprečje			3800	38	16620	124

Pri deski rolke AKACIJA 1 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 16620 N/mm². Izmerjeni podatek odstopa od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (13600 N/mm²). Vzrok za odstopanje je predvsem v sestavi kompozita (lepilo, križno lepljene plasti, tekstura).

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 124 N/mm². Pri tej meritvi pa smo ugotovili nižjo vrednost kot jo navaja literatura (140 N/mm²). Vzrok za nižjo vrednost je verjetno predvsem v slabi razporeditvi rasti oz. teksture lesa ali pa zaradi napak v lesu, saj je bil lom deske čist in se deska med lomom ni nikjer razplastila.

Preglednica 7: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 2

Deska rolke AKACIJA 2						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	9,15	198	3790	61,4	20100	141
2	9,15	198			20200	
3	9,15	198			20200	
4	9,15	198			20200	
5	9,15	198			20200	
Povprečje			3790	61,4	20180	141

Pri deski rolke AKACIJA 2 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 20180 N/mm^2 . Izmerjena vrednost je kar precej večja od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (13600 N/mm^2). Tolikšno odstopanje je nekoliko nenavadno. Vzrok za odstopanje je lahko večji nanos lepila in s tem bolj globoka penetracija lepila v les ali pa v sami zgradbi lesa in v dobri razporejenosti furnirskih listov.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 141 N/mm^2 . Odstopanje od podatka navedenega v literaturi (140 N/mm^2) je minimalno, ampak bi zaradi križno lepljenih plasti pričakovali večje odstopanje.

Preglednica 8: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 3

Deska rolke AKACIJA 3						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm^2)	Upogibna trdnost (N/mm^2)
1	9,80	198	4240	47,5	17400	137
2	9,80	198			17600	
3	9,80	198			17600	
4	9,80	198			17600	
5	9,80	198			17700	
Povprečje			4240	47,5	17580	137

Pri deski rolke AKACIJA 3 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 17580 N/mm^2 . Izmerjena vrednost je večja od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (13600 N/mm^2). Vzrok za večjo vrednost od navedene je v ojačitvenih plasteh karbona, saj imajo karbonska vlakna skoraj dvakrat večji modul elastičnosti kot les akacije in zaradi tega naj bi dodana plast karbonskih vlaken nekoliko povečala modul elastičnosti našega kompozita.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 137 N/mm^2 . Izmerjena vrednost je manjša od navedene v literaturi. Zaradi ojačitve iz karbonskih vlaken smo pričakovali, da bomo dobili višje upogibne trdnosti, a se je izkazalo, da z dodano ojačitveno plastjo karbonskih vlaken nismo izboljšali upogibne trdnosti.

Preglednica 9: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke AKACIJA 4

Deska rolke AKACIJA 4						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	9,65	197	4190	43,7	18500	140
2	9,65	197			18700	
3	9,65	197			18900	
4	9,65	197			18800	
5	9,65	197			18800	
Povprečje			4190	43,7	18740	140

Pri deski rolke AKACIJA 4 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 18740 N/mm². Izmerjena vrednost je večja od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (13600 N/mm²). Vzrok za večjo vrednost od navedene je v ojačitvenih plasteh karbona. Pri deski AKACIJA 4 smo dobili tudi nekoliko višje vrednosti kot pri deski AKACIJA 3, vendar je odstopanje minimalno.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 140 N/mm². Izmerjena vrednost je enaka kot je navedena v literaturi (140 N/mm²). Tudi pri tej meritvi smo ugotovili, da dodana plast karbonskih vlaken ne izboljša upogibne trdnosti deske rolke.

Preglednica 10: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 1

Deska rolke JESEN 1						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	11,65	198	3390	33,8	9110	77,6
2	11,65	198			9280	
3	11,65	198			9370	
4	11,65	198			9380	
5	11,65	198			9380	
Povprečje			3390	33,8	9304	77,6

Pri deski rolke JESEN 1 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 9304 N/mm^2 . Izmerjena vrednost je manjša od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (12310 N/mm^2). Vrednosti kar precej odstopajo, razlog pa je lahko v teksturi in zgradbi lesa.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat $77,6 \text{ N/mm}^2$. Izmerjena vrednost prav tako precej odstopa od vrednosti v literaturi (103 N/mm^2). Vzrok za odstopanje je verjetno enak kot pri merjenju modula elastičnosti.

Preglednica 11: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 2

Deska rolke JESEN 2						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm^2)	Upogibna trdnost (N/mm^2)
1	11,65	198	3310	26,8	9920	75,7
2	11,65	198			10100	
3	11,65	198			10200	
4	11,65	198			10100	
5	11,65	198			10200	
Povprečje			3310	26,8	10104	75,7

Pri deski rolke JESEN 2 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 10104 N/mm^2 . Tudi pri tej meritvi je je izmerjena vrednost manjša od podatka navedenega v literaturi opisa lesne vrste (12310 N/mm^2). Ker je tudi ta deska bila narejena iz istega veza furnirja kot deska rolke JESEN 2, lahko predvidevamo iste vzroke za odstopanja (tekstura in zgradba lesa).

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat $75,5 \text{ N/mm}^2$. Izmerjena vrednost prav tako precej odstopa od vrednosti v literaturi (103 N/mm^2). Vzrok za odstopanje je enak kot pri merjenju modula elastičnosti.

Preglednica 12: Rezultati meritev upogibnih lastnosti deske rolke JESEN 3

Deska rolke JESEN 3						
Št. ponovitve	Debelina (mm)	Širina (mm)	Sila loma (N)	Max. Poves (mm)	Modul elastičnosti (N/mm ²)	Upogibna trdnost (N/mm ²)
1	11,80	197	3120	33,2	7880	70,1
2	11,80	197			8000	
3	11,80	197			8030	
4	11,80	197			8020	
5	11,80	197			8030	
Povprečje			3120	33,2	7992	70,1

Pri deski rolke JESEN 3 smo ugotovili povprečni modul elastičnosti 7992 N/mm². Vzrok za odstopanje v vrednosti je enak kot pri deski JESEN 1 in JESEN 2. Vse tri deske so bile narejene iz istega veza furnirja in prav vse tri deske imajo precej nižji modul elastičnosti kot je naveden v literaturi. Zato lahko zagotovo sklepamo, da je za odstopanje kriva zgradba lesa, saj so bile deske rolke JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3 izdelane iz istega veza furnirja jesena.

Pri merjenju upogibne trdnosti smo dobili rezultat 70,1 N/mm². Tudi pri tej meritvi je odstopanje večje kot bi pričakovali. Ker vse tri deske (JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3), zelo odstopajo od vrednosti v literaturi, lahko potrdimo, da so bile napake v izdelavi minimalne in se vzroki za odstopanje verjetno skrivajo v zgradbi lesa.

4.2 KALKULACIJA MATERIALA ZA IZDELAVO DESKE ROLKE

4.2.1 Cene materialov

Furnir akacija 1,4 mm.....	10 €/m ²
Furnir jesen 1,6 mm.....	8 €/m ²
Lepilo PURBOND HB440.....	6 €/kg
Karbonska vlakna 482 g/mm ²	35 €/m ²
Epoksi smola ARALDIT LY 3297/ARADURA 3299	25 €/kg

4.2.2 Izračun cene materialov za sestavo AKACIJA 1 in AKACIJA 2

Dimenzije furnirja za desko rolke z nad mero so: 1 m x 0,25 m, kar znes 0,25 m² na eno plast.

Furnir:

7 plasti x 0,25 m² x 10 € 17,50 €

Lepilo:

6 plasti x 0,25 m² x 0,200 kg/m² x 6 €/kg..... 1,80 €

Skupaj strošek materiala:.....19,30 € / desko rolke

4.2.3 Izračun cene materialov za sestavo AKACIJA 3 in AKACIJA 4

Dimenzije furnirja za desko rolke z nad mero so: 1 m x 0,25 m, kar znes 0,25 m² na eno plast.

Furnir:

6 plasti x 0,25 m² x 10 €..... 15,00 €

Lepilo:

5 plasti x 0,25 m² x 0,200 kg/m² x 6 €/kg..... 1,50 €

Karbonska vlakna:

0,25 m² x 2 plasti x 35 €/m²..... 17,50 €

Epoksi smola:

0,25 m² x 2 plasti x 0,160 kg/m² x 25 €/kg..... 2,00 €

Skupaj strošek materiala:.....36,00 € / desko rolke

4.2.4 Izračun cene materialov za sestavo JESEN 1,2,3

Dimenzije furnirja za desko rolke z nad mero so: 1 m x 0,25 m, kar znese 0,25 m² na eno plast.

Furnir:

7 plasti x 0,25 m² x 8 €.....14,00 €

Lepilo:

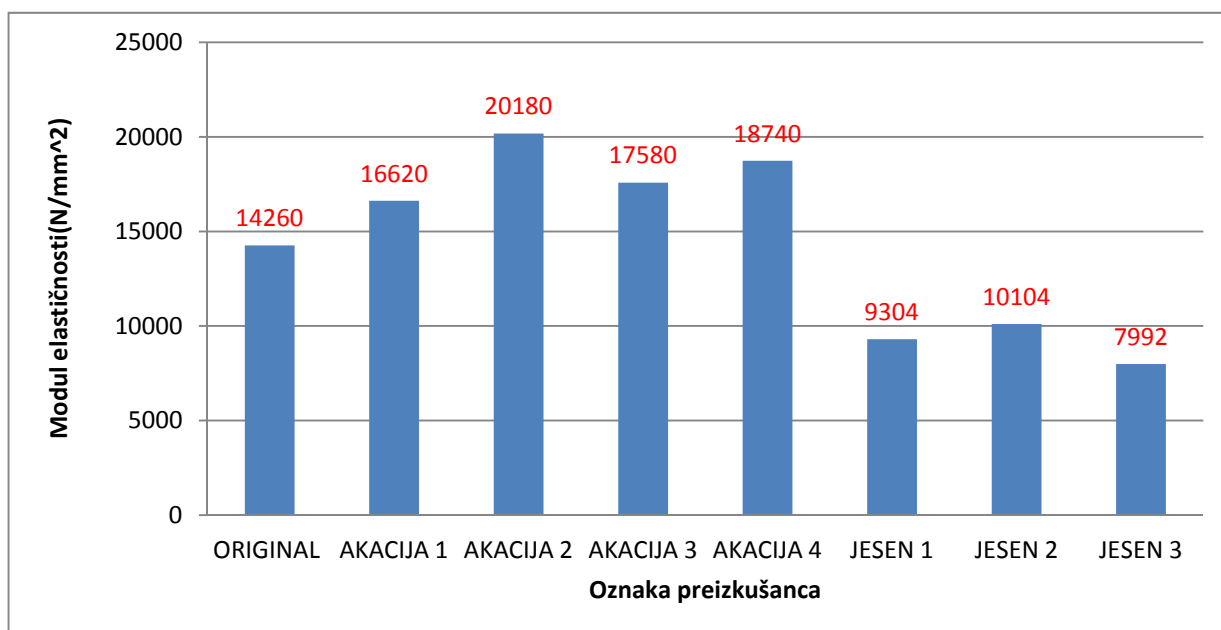
6 plasti x 0,25 m² x 0,200 kg/m² x 6 €/kg.....1,80 €

Skupaj strošek materiala:.....15,80 € / desko rolke

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

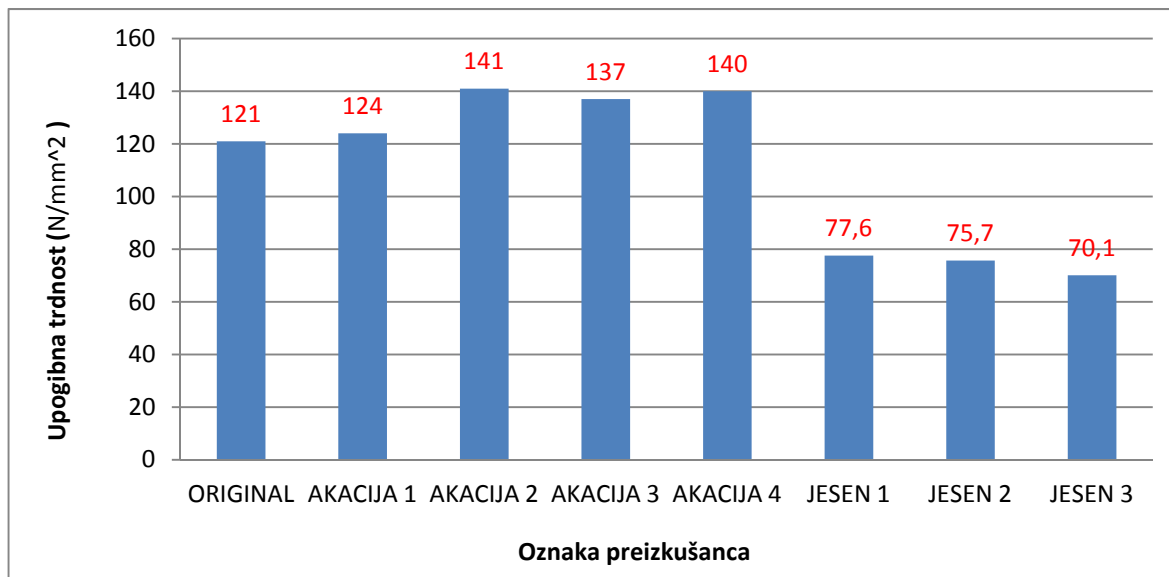
Ugotovili smo, da je med preizkušanci imela največji povprečni modul elastičnosti deska rolke AKACIJA 2, najmanjši modul elastičnosti pa je bil ugotovljen pri deski rolke JESEN 3 (slika 16).



Slika 16: Modul elastičnosti deske rolke glede na sestavo preizkušanca

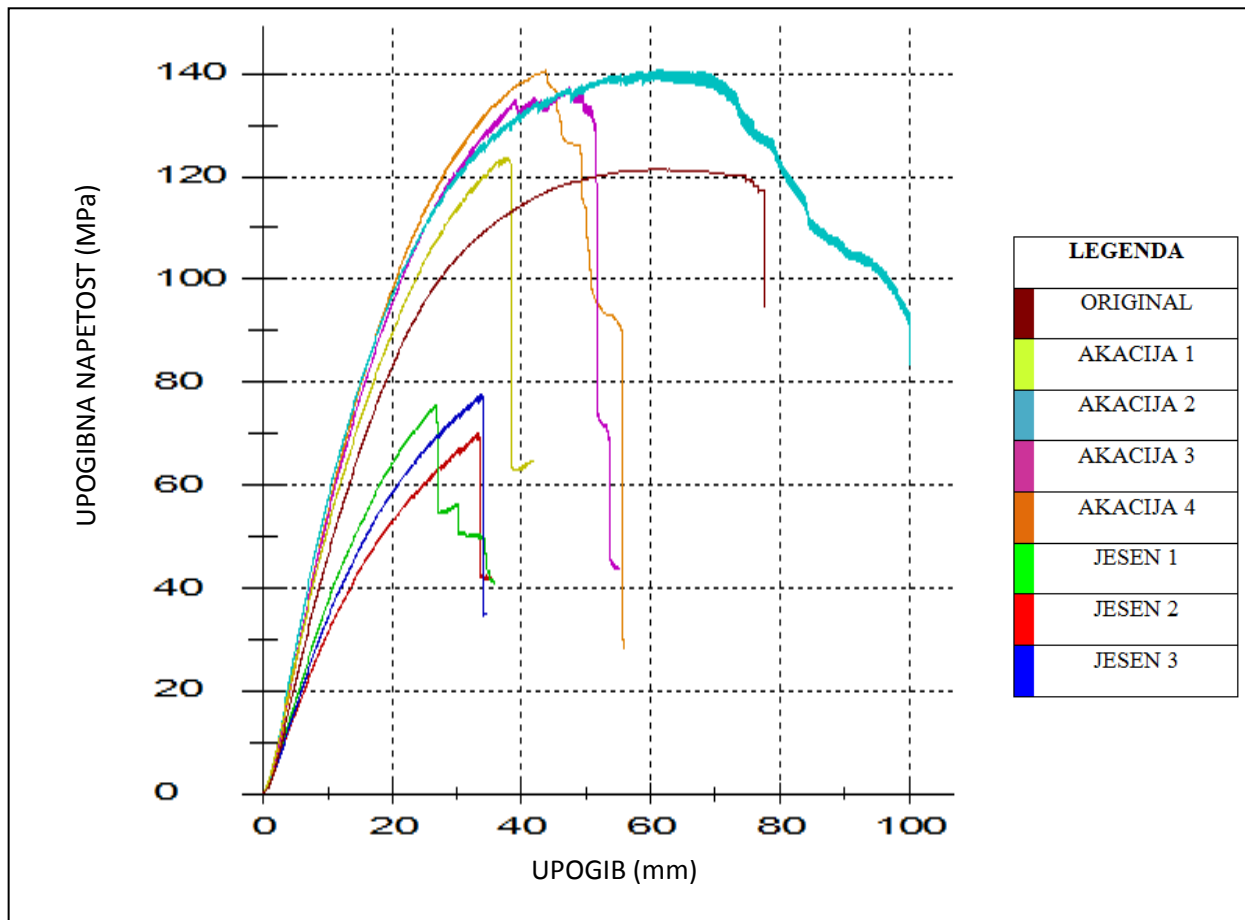
Iz primerjave modulov elastičnosti vidimo, da je bil največji povprečni modul elastičnosti izmerjen pri deski rolke AKACIJA 2, vendar pa je pri tej meritvi prišlo do velikega odstopanja od podatka navedenega v literaturi. Pri primerjalni deski rolke ORIGINAL smo dobili manjši modul elastičnosti kot pri vseh štirih deskah iz akacije in dosti večji kot pri sestavi desk iz jesena. Deski rolke AKACIJA 3 in AKACIJA 4, ki sta bili ojačani s karbonskimi vlakni, sta se izkazali za najboljše. Razlika med deskami akacije in akacije z ojačitvami je bila majhna, zato smo ugotovili, da plast karbonskih vlaken v sestavi, kljub velikemu modulu elastičnosti, ne vpliva veliko na povečanje modula elastičnosti deske. Deske narejene iz jesena (JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3) imajo zelo nizke module elastičnosti, kar pomeni, da je bila sestava desk rolke iz jesena najslabša med našimi testiranci.

Največjo upogibno trdnost med preizkušanci je imela deska rolke AKACIJA 2, najmanjšo upogibno trdnost pa smo izmerili pri deski rolke JESEN 3 (Slika 17).



Slika 17: Upogibna trdnost deske rolke glede na sestavo preizkušanca

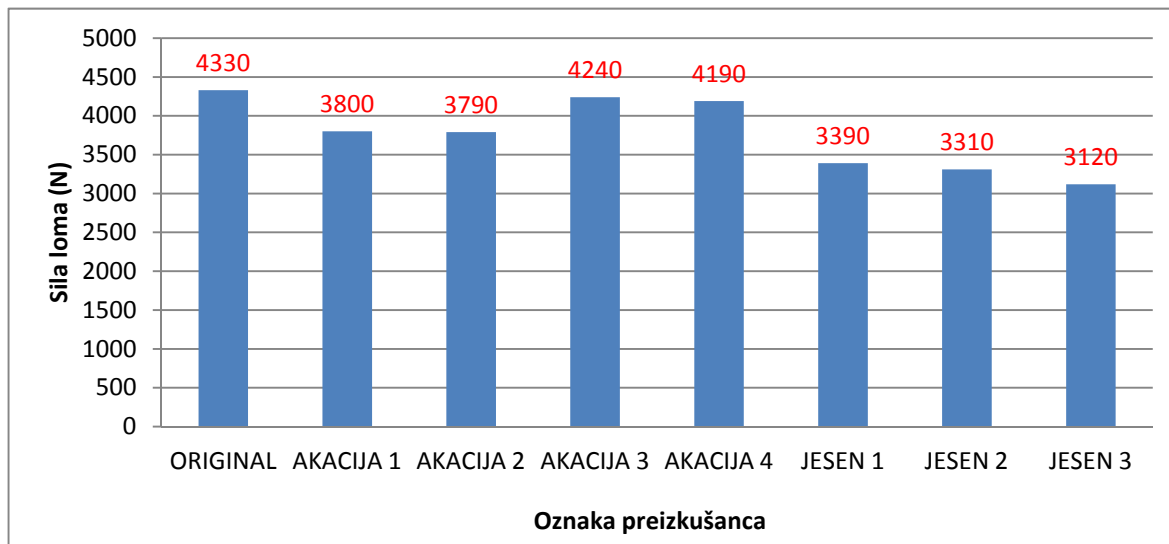
Primerjava upogibnih trdnosti je zopet pokazala največjo vrednost pri deski AKACIJA 2. Tudi tukaj je meritev odstopala od deske AKACIJA 1, ki je imela identično sestavo. Če izvezemo odstopanje meritve AKACIJA 2, lahko sklepamo, da ima največjo upogibno trdnost deska AKACIJA 4 in nato AKACIJA 3. Tudi pri upogibni trdnosti smo s karbonskimi vlakni malenkost izboljšali karakteristike deske rolke. Deska ORIGINAL ima slabšo upogibno trdnost kot vse deske AKACIJA, ampak je bilo pri merjenju upogibne trdnosti odstopanje od desk s sestavo AKACIJA 1, 2, 3, 4 manjše kot pri modulu elastičnosti. Upogibna trdnost desk iz jesena (JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3) je zelo majhna, kar pomeni, da je bila sestava desk rolke iz jesena najslabša med našimi testiranci.



Slika 18: Graf upogibne napetosti v odvisnosti od upogiba za posamezno desko rolke

Na sliki 18 vidimo krivulje upogibne napetosti v odvisnosti od upogiba za posamezno desko rolke. Iz samih krivulj lahko razberemo, da je pri deskah JESEN 1, JESEN 2, JESEN 3 in AKACIJA 1 prišlo do hitrega in takojšnjega loma deske, kar nam pokaže velik in takojšen padec napetosti na najvišji točki krivulje. Deska ORIGINAL ima najbolj zvezno krivuljo ampak tudi tukaj pride do takojšnjega loma. Pri deskah AKACIJA 2, AKACIJA 3 in AKACIJA 4 vidimo postopen padec krivulje, kar pomeni, da je bil lom počasen, saj so se vlakna v lesu počasi trgala dokler ni prišlo do loma. Vzrok za postopen padec krivulje je lahko tudi v majhnih zdrsih deske na stiku deske rolke in podpornikih stroja.

Največja sila loma je bila izmerjena pri deski rolke ORIGINAL, najmanjšo silo loma pa je imela deska rolke JESEN 3 (slika 19).



Slika 19: Grafična primerjava sile loma med preizkušanci

Sila loma je bila izmerjena tik preden je prišlo do loma. Rezultat je bil odvisen od sestave in debeline deske rolke. Največjo silo smo tokrat izmerili pri naši primerjalni deski ORIGINAL. Za nekoliko večjo vrednost kot pri deskah AKACIJA je bila kriva debelina sestave deske ORIGINAL, ki je znašala 10,55 mm. Deski AKACIJA 3 in AKACIJA 4 sta se kljub tanjši sestavi zelo približali deski rolke ORIGINAL. Razlog za to je v lesni vrsti, ki ima večji modul elastičnosti, večjo upogibno trdnost in večjo gostoto. Prav tako lahko sklepamo, da je razlog v ojačitveni plasti, saj sta sestavi AKACIJA 1 in AKACIJA 2 prenesli nižje sile loma. JESEN 1, JESEN 2 in JESEN 3 so kljub najdebelejši sestavi imeli najmanjše sile loma, kar nam potrdi, da je jesen najmanj primeren za izdelavo deske rolke med našimi testiranci.

5.2 SKLEPI

Na osnovi rezultatov raziskave lahko zaključimo, da ima deska rolke narejena iz furnirja akacije in z ojačitvijo s karbonskimi vlakni najboljše lastnosti med preizkušanci. Pri modulu elastičnosti in upogibni trdnosti smo dobili za približno 10 – 20 % višje rezultate kot pri komercialni deski ORIGINAL.

Deska rolke narejena iz furnirja akacije je imela večji modul elastičnosti in upogibno trdnost kot deska rolke iz kanadskega javorja. Po rezultatih se je zelo približala deski rolke z ojačitvami.

Sestave deske rolke iz furnirja jesena so med preizkušanci imele najmanjše izmerjene vrednosti, zato lahko zatrdimo, da jesen ni primeren za izdelavo deske rolke.

Primerjalna deska rolke na trgu stane 25 €, material za izdelavo naše deske rolke pa 19,30 € oz. 36 € v primeru uporabe ojačitvene plasti. Zato smo pri izračunu cene materialov za izdelavo deske rolke dobili odgovor, da se izdelava v malo serijski proizvodnji ne bi izplačala. Sklepamo lahko, da bi se s tehnologijo in veliko serijsko proizvodnjo lahko približali končni ceni 25 €. Deska ojačana s karbonskimi vlakni pa bi bila kljub temu predraga za veliko serijsko proizvodnjo in z višjo ceno ne bi mogli opravičiti boljše kvalitete deske rolke.

6 POVZETEK

Namen diplomskega projekta je bila izdelava desk rolk, katere bi bile po karakteristikah enake ali bolj kvalitetne od komercialne deske rolke. Pri izdelavi smo se osredotočili predvsem na naše komercialne lesne vrste, saj je furnir kanadskega javorja debeline 1,5 mm iz katerega izdelujejo deske rolke, pri nas težko dostopen. Zato smo se odločili izbrati dve drevesni vrsti iz katerih smo izdelali testne deske rolke. Izbirali smo med lesnimi vrstami z višjim modulom elastičnosti in višjo upogibno trdnostjo, zato smo izbrali jesen in akacijo. Dve deski rolke pa smo se odločili ojačiti s karbonskimi vlakni.

Pred izdelavo deske smo morali narediti kalup za stiskanje. Obliko kalupa smo povzeli po naši primerjalni deski, zato da je bilo kasneje pri meritvah odstopanje rezultatov zaradi oblike minimalno. Ko smo imeli kalup dokončan, smo v njem izdelali sedem slojne deske rolke. Naredili smo dve deski rolke iz furnirja akacije, dve iz furnirja akacije z ojačitvijo iz karbona, ter tri iz furnirja jesena. Vsem izdelanim deskam rolke in eni primerjalni komercialni deski rolke smo z upogibnim tri-točkovnim testom izmerili modul elastičnosti in upogibno trdnost.

Pri modulu elastičnosti smo ugotovili, da so deske rolke izdelane iz akacije prenesle večje obremenitve kot naša primerjalna deska rolke. Deski rolke, ki sta bili ojačeni s karbonskimi vlakni, pa sta prenesli največje obremenitve med našimi preizkušanci. Ugotovili smo tudi, da jesen ni primerna lesna vrsta za desko rolke, saj je imela zelo nizek modul elastičnosti.

Pri upogibni trdnosti so bile ugotovitve podobne kot pri modulu elastičnosti. Največjo upogibno trdnost sta imeli deski iz akacije z ojačitvijo iz karbonskih vlaken, nato deski iz akacije ter originalna deska rolke. Pri deskah rolke iz jesena smo dobili zelo nizke upogibne trdnosti, kar nam zopet potrjuje, da jesen ni primeren za izdelavo deske rolke.

Kalkulacija materialov za izdelavo deske rolke nam je podala odgovor, da se deske rolke izdelane iz akacije ne bi izplačalo izdelovati v malo serijski proizvodnji, saj bi bil strošek prevelik in prodajna cena nekonkurenčna. V veliko serijski proizvodnji pa bi se s prodajno ceno lahko približali ceni 25 €, toliko kot stane naša testna deska rolke. Deske rolke z ojačitvami iz karbonskih vlaken pa se kljub veliko serijski proizvodnji ne bi izplačalo izdelovati, saj so karbonska vlakna predraga in z nekoliko višjo kvaliteto deske rolke, ne bi mogli upravičiti višje prodajne cene izdelka.

7 VIRI

Element-skateboards. 2009. Thesk8nerd.blogspot (22. dec. 2013).

<http://thesk8nerd.blogspot.com/2009/06/element-skateboards.html>

Hard maple. Wood-database (12. apr. 2013).

<http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/hard-maple/>

Impact. 2013. Almostskateboards (28. dec. 2013)

<http://almostskateboards.com/impact/>

Kompan J., Volavšek M. 2006. Izbira ustreznih vrst lesa za izdelavo deske rolke. Maribor, Lesarska šola Maribor

Les tests skateboards. Brolive (22. dec. 2013) http://www.brolive.org/gallery/les-tests-skateboards3/nose_shape_darkstar_skateboard_armor_ply

P2 construction. 2014. Flipskateboards (22. dec. 2013).

<http://flipskateboards.com/p2/>

Skatebording history. 2009. Skateboardingskateboards (22. dec. 2013)

<http://www.skateboardingskateboards.com/skateboarding-history/>

Torreli N. 2002. Robinija (*Robinia pseudoacacia* L.) in njen les. Les, 54: 6-10

Torreli N., Zupančič N. 1998. Kvaliteta jesenovine. LES wood, 50: 8-10

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Milanu Šerneku za pomoč in nasvete pri izpeljavi celotnega diplomskega projekta, hkrati se zahvaljujem tudi recenzentu prof. dr. Sergeju Medvedu za strokovno recenzijo diplomskega projekta. Zahvala gre tudi mag. Bogdanu Šegi za pomoč pri praktičnem delu.